5П

УДК 007: 681.136.54

Т.Г. Петренко, Ю.С. Резниченко
Донецкий национальный университет, г. Донецк, Украина

Проблемно-ситуационный подход к построению автоматизированного тренажёра оператора

Проанализированы подходы, реализованные в существующих автоматизированных тренажёрах операторов. Выделены теоретические и практические подходы к построению систем данного вида. Построена и описана в терминах проблемно-ситуационного подхода схема работы автоматизированного тренажёра оператора. Рассмотрен пример применения проблемно-ситуационного подхода.

Подготовка операторов относится к классу систем обучения, обладающих повышенным уровнем ответственности и риска. Оператор – специалист, управляющий работой какого-нибудь сложного устройства, оборудования в отдельной отрасли науки, техники, мастерства или искусства. Оператор, как и любой обучаемый человек, в процессе обучения приобретает и развивает знания, навыки и умения. Однако для оператора особо важным фактором становится высокая скорость принятия решения на основе часто неполной информации об объекте управления. Существующие автоматизированные системы подготовки операторов не учитывают того, что обеспечение нужной скорости принятия решения формируется не только за счет многократных тренировок и запоминания больших объемов информации, но и за счет формирования в памяти оператора когнитивной карты предметной области и наиболее типовых ситуаций в процессе работы. В работе предлагается использовать проблемно-ситуационный подход к построению автоматизированного тренажера оператора (АТО) [1].

Особенности подходов, реализованных в существующих АТО

Целью существующих типов АТО является достижение разных уровней подготовки оператора [2].

Электронные экзаменаторы позволяют автоматизировать контроль знаний определённых правил в конкретных видах деятельности персонала.

Статические тренажеры позволяют отрабатывать фиксированный порядок действий. Не включают физико-математическую модель процессов, поэтому предназначены для общего ознакомления с оборудованием, обучения работе в штатных ситуациях.

Динамические тренажеры реализуют физико-математическую модель реальных процессов, поэтому формируют и развивают комплексные умения и навыки в штатных, нештатных и аварийных ситуациях. Часть динамических тренажёров являются адаптивными, осуществляют оценку ситуаций и уровня подготовки оператора.

Пультовые тренажеры поддерживают возможности динамических тренажёров, но присутствие аппаратной части ограничивает возможности их использования управлением конкретным оборудованием.

Свойство адаптивности тренажёра обеспечивает повышение эффективности автоматизированного обучения при изменении свойств среды управления и уровня подготовки оператора.

Тренажёр как адаптивная система может быть самонастраивающимся и самоорганизующимся [3]. В первом случае в соответствии с изменением внешней среды изменяется способ функционирования тренажеров (штатные режимы его работы). Во втором случае изменяется структура тренажеров (нештатные и аварийные ситуации).

Выделяют конструктивную (режимную) или дидактическую адаптивность тренажёра. Конструктивная адаптивность предполагает, что для приспособления к реальным условиям изменяются режимные характеристики тренажёра или изменяются параметры и структура математической модели тренажёра. Дидактическая адаптивность предполагает автоматическое изменение учебно-методического обеспечения тренажёра в зависимости от предшествующего опыта обучения, уровня подготовки оператора и этапа обучения.

В настоящее время среди моделей, положенных в основу тренажёров, выделяют прескриптивные и дескриптивные модели [4].

Прескриптивные модели предназначены для достижения желательной ситуации при обучении оператора (например, оптимальной), дескриптивные модели – для улучшения текущей ситуации. Характеристики дескриптивной модели определяются с учётом накопленного опыта оператора.

Среди дескриптивных моделей выделяют самонастраивающиеся и самоорганизующиеся [5]. При изменении влияющих факторов в самонастраивающихся моделях изменяются параметры моделей, а в самоорганизующихся моделях изменяется структура.

Разработка системы АТО предполагает использование определённого математического аппарата для описания деятельности оператора [6]. Применяются методы теории автоматов, теории статистических решений, теории информации, теории массового обслуживания и теории автоматического управления. Отметим основные недостатки наиболее часто применяемых методов.

Информационные методы:

– недостаточно учитывают ряд важнейших чётких (например, время поступления информации, количество информации, обрабатываемой оператором) и нечётких (например, смысловая сложность поступающей информации) факторов;
– описывают статический процесс обучения только в типовых рабочих ситуациях.

Методы теории массового обслуживания:

– не учитывают важнейшие нечёткие факторы и накладывают ограничения на чёткие факторы (например, учитывают только однородные количественные характеристики заявок в потоке).

Методы теории автоматического управления:

– часто используются для построения линейных моделей с нестабильными параметрами, при этом возникают проблемы с вычислением коэффициентов усиления;
– недостаточно учитывают чёткие и нечёткие факторы.

Анализ существующих АТО показывает недостаточный учет человеческого фактора, что приводит к упрощению структуры АТО, но снижает качество подготовки оператора, особенно в нештатных и аварийных ситуациях.

Особенности проблемно-ситуационного подхода

Тренажер – с точки зрения проблемно-ситуационного подхода – программно-техническое средство профессиональной подготовки оператора:

– реализующее адекватную модель предметной области;

– предназначенное для выработки знаний оборудования, процессов, норм и правил, а также для формирования и закрепления навыков и умений по работе в штатных, нештатных и аварийных ситуациях;
– оснащенное учебно-методическим обеспечением процесса обучения и его контроля;
– обеспечивающее качество управления тренажёрной подготовкой персонала по промышленным стандартам.

Рис. 1 показывает формирование в памяти оператора модели предметной области. Модель предметной области определяется когнитивной картой предметной области и влияющими факторами.

Знание – прототип ситуации в памяти оператора. Если прототип не вырабатывается специально, а хранится и активизируется в памяти оператора, значит, оператором усвоен динамический стереотип деятельности. Степень законченности формирования соответствующего стереотипа деятельности определяется умением и навыком [3], [7].

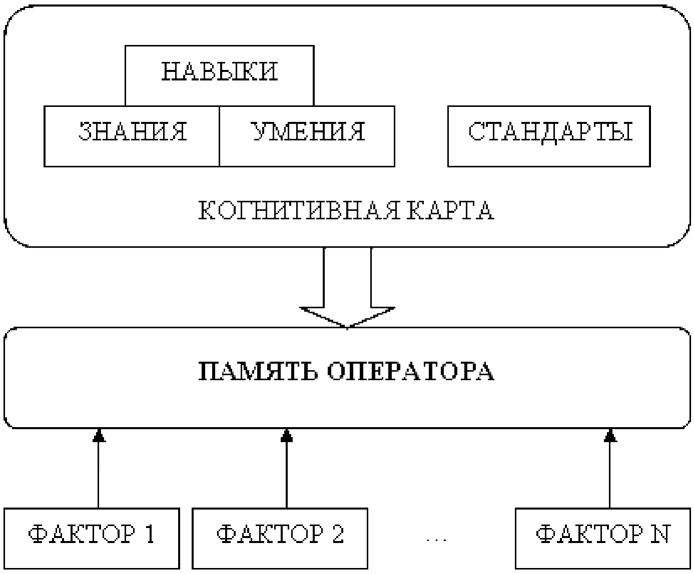


Рисунок 1 – Формирование модели предметной области

Умение – способность правильно применять в оперативной деятельности усвоенное знание для решения соответствующего класса эквивалентных задач. По мере неоднократных тренировок в памяти оператора происходит рациональное сокращение умения и формирование навыка.

Навык – автоматизированное умение оперативно действовать по сокращённому сценарию. Навык является более освоенным, но менее контролируемым стереотипом деятельности, чем умение.

Качественная тренажёрная подготовка осуществляется итерационно и включает несколько этапов. В табл. 1 представлены основные этапы работы оператора с тренажёром [7].

Первые два этапа представляют информационный поиск. Последние три этапа объединяются понятием обслуживания. Информационный поиск и обслуживание взаимообусловлены. От принятого решения зависит направление следующего этапа информационного поиска. Результаты информационного поиска оказывают влияние на точность и скорость обслуживания. По данным специальных исследований 80 % ошибок оператор допускает при прохождении этапов информационного поиска [7].

Таблица 1 – Основные этапы работы оператора с тренажёром

Название этапа	Описание этапа
1. Восприятие ситуации	Обнаружение и опознание ситуации
2. Оценка ситуации, ее анализ и обобщение	Идентификация ситуации на основе заданных критериев. Воспринятая ситуация сопоставляется с моделью предметной области в памяти оператора. Выделяются важнейшие факторы. Определяются типовые ситуации.
3. Принятие решения: сопоставление ситуации со сценарием поведения	В памяти оператора формируются или активизируются связи между ситуациями и сценариями поведения.
4. Реализация решения: исполнение сценария поведения	Исполнение принятого решения с помощью определенного действия или отдачи соответствующих распоряжений.
5. Проверка решения	Контроль над исполнением сценария поведения.

Традиционно применяются две формы обучения оператора с применением тренажёра [2]:

– подготовка по новой должности (профессии), изменение требований к оператору;

– непрерывная, профессиональная подготовка для повышения квалификации (например, контрольные и противоаварийные тренировки, специальная подготовка).

Рассмотрим возможные подходы к решению задачи подготовки оператора с точки зрения теории менеджмента и теории искусственного интеллекта (раздел «Машинное обучение»).

Обзор направлений подготовки персонала в менеджменте позволяет выделить критерии качества программного обеспечения для тренажёрной подготовки [8]. Основными критериями качества являются гарантированный уровень подготовки за определённое время, количество итераций обучения, а также направленность подготовки на процесс обучения или на результат обучения.

Проблемно-ситуационный подход в менеджменте позволяет эффективно повысить квалификацию оператора в случае выявленного недостатка квалификации за короткий срок. При подготовке формируются и развиваются конкретные знания, навыки и умения. Основной задачей является описание обучающей ситуации с учётом таких факторов, как, например, неопределённость оперативной ситуации, внешние и внутренние мотивационные факторы, соотношение реальных и необходимых характеристик оператора.

Ориентация на регулярную, часто долгосрочную тренажёрную подготовку характеризует два других подхода – тактический и стратегический. Часто подготовка является многоцелевой. Основной задачей является описание программы обучения для стратегического подхода и описание этапов программы обучения для тактического подхода.

Обзор подходов к учёту влияющих факторов с точки зрения искусственного интеллекта позволяет рассматривать тренажёр как виртуальную машину подготовки и строить его с применением теории машинного обучения [9].

Подход, основанный на символьном представлении информации, сводится к явному представлению в АТО знаний о предметной области. На основе опыта система АТО строит и модифицирует выражение на формальном языке и сохраняет эти знания для последующего использования.

В рамках подхода на основе связей строятся системы АТО параллельной распределённой обработки информации. Интеллектуальные свойства этих систем обеспечи-

ваются взаимодействием простых компонентов и настройкой связей между ними в процессе обучения или адаптации.

Подход, основанный на социальных и эмерджентных принципах, имитирует процесс обучения путём реализации процесса эволюции кандидатов на роль решения. Варьирование определённых свойств и выборка наиболее подходящих кандидатов повышают способность системы АТО к обучению.

Анализ существующих тренажеров и возможных подходов к построению АТО показал, что успешными являются тренажеры, которые учитывают сложность предметной области, факторы, влияющие на процесс обучения, а также обладают адаптивными свойствами. Авторами была изучена возможность применения теории управления к решению задачи подготовки оператора.

Классические методы управления позволяют адекватно описывать полностью детерминированный объект управления при детерминированной среде. Однако в области профессиональной подготовки оператора существуют проблемы, связанные с неопределённостью. Например, формальное описание механизмов обработки информации в памяти оператора, зашумлённость поступающей информации, неточность восприятия информации оператором. Две другие альтернативные технологии предлагают способы решения таких проблем.

Нейросетевая технология управления вносит проблему построения архитектуры нейронной сети. Оператор анализирует множество ситуаций и синтезирует множество управляющих решений. Деятельность оператора связана с обработкой информации в памяти, механизмы которой изучены недостаточно и, значит, не могут быть корректно отражены с помощью нейронных сетей.

Для сложного процесса управления обучением оператора оптимальными являются нечеткие методы управления [10]. Нечёткие методы позволяют учитывать множество влияющих факторов, не требуют точной и однозначной формулировки закономерностей в описании связей между факторами и учитывают сложность модели. Также решается проблема необходимости накопления обширных статистических оценок факторов.

На основании сделанного обзора подходов можно построить схему работы АТО (рис. 2). Назовём её традиционной схемой работы АТО.

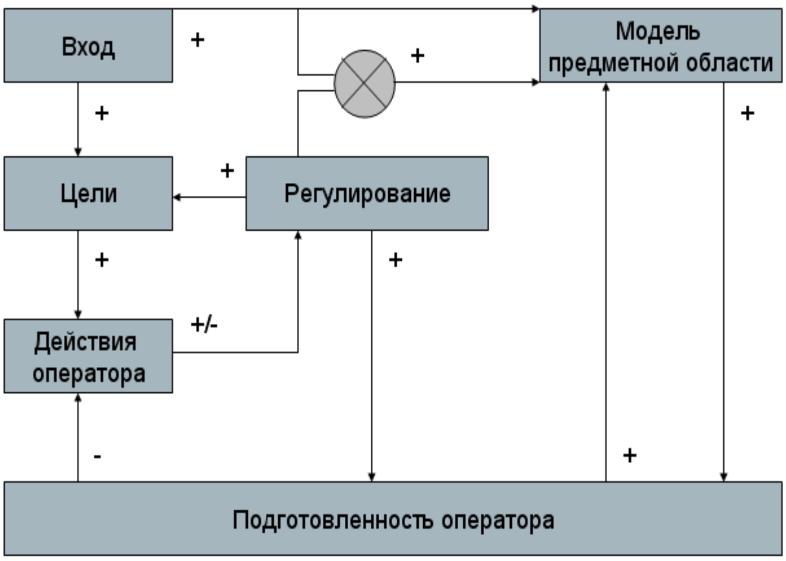


Рисунок 2 – Традиционная схема работы АТО

Блок «Вход» включает файлы входных данных и интерфейс работы оператора с системой АТО.

В блоке «Цели» описываются отдельные задания, которые требуют реакции оператора.

В блоке «Действия оператора» описывается поведение оператора при выполнении задания.

Блок «Модель предметной области» содержит: описание заданий и поведения оператора, «решающую таблицу», которая заданиям ставит в соответствие способы поведения; промышленные стандарты поведения оператора; характеристики оператора и окружения работы оператора с тренажёром; стратегию обучения по этапам и тактику обучения на этапе по шагам. Информация закладывается в блок экспертом предметной области.

В блоке «Подготовленность оператора» описывается итог обучения оператора на каждом шаге конкретного этапа обучения. Состояние оператора и состояние окружения характеризуются несколькими факторами, имеющими конкретные числовые значения.

Выполнение оператором заданий одинакового уровня сложности и/или важности происходит пошагово до тех пор, пока необходимое поведение оператора не будет соответствовать предъявленному заданию. Переход на следующий этап обучения выполняется по заданному экспертом алгоритму. Обучение оператора с помощью заданий различного уровня происходит поэтапно до тех пор, пока качество работы оператора не получит требуемой оценки.

В блоке «Регулирование» с помощью чётких значений факторов и «решающей таблицы» принимается решение о поведении оператора.

Традиционная схема имеет несколько основных недостатков:

– не использует активные методы обучения человека;

– не учитывает нечёткие факторы, влияющие на работу оператора с системой АТО, часто охватывая недостаточное количество чётких факторов;

– не обеспечивает адаптивность системы АТО.

Авторами разработана модифицированная схема работы АТО (рис. 3).

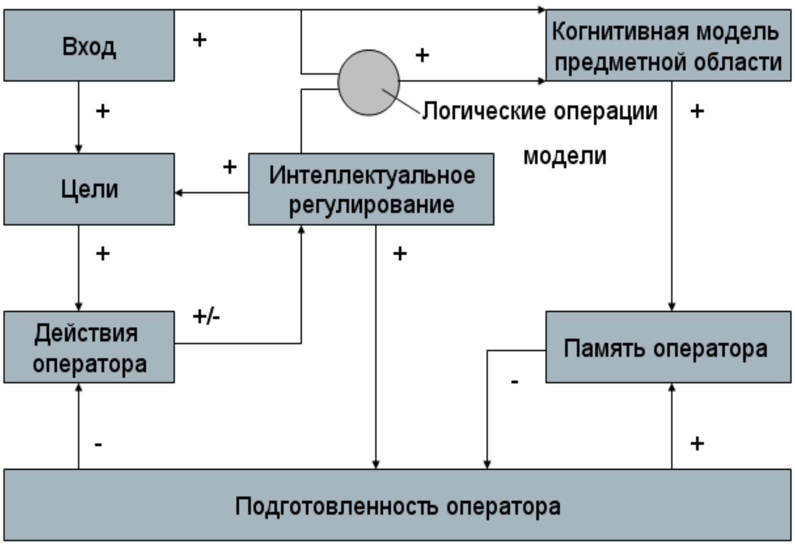


Рисунок 3 – Модифицированная схема работы АТО

Любая схема обучения предполагает работу с различными видами памяти и требует учёта особенностей человеческого мышления и восприятия. Тренировки приводят к улучшению характеристик памяти оператора. Модификация характеристик памяти оператора позволяет повысить эффективность развития специальных умений и навыков. Активные методы обучения, выработанные в одной предметной области, могут применяться в других, отличающихся по задачам и целям. Поэтому авторами предложено включить в схему работы АТО блок «Память оператора» [11].

В блоке «Память оператора» предложено реализовать нечёткую модель памяти оператора, описывающую механизм обработки информации. Заложенный в модель механизм позволяет преобразовывать базу данных и базу правил в соответствии с опытом обучения, усвоенным оператором на предыдущих шагах и этапах, и сформированным ранее уровнем подготовки оператора.

Авторами введен в схему тренажера АТО блок «Когнитивная модель предметной области». Блок содержит: описание чётких и нечётких факторов и соответствующих переменных; описание прототипов штатных ситуаций, возникающих в процессе обучения оператора; описание сценариев управляющих решений в терминах ситуаций; нечёткую модель вывода управляющего решения. Добавляется возможность обновления экспертом модели предметной области в процессе работы оператора с системой АТО.

В блоке «Подготовленность оператора» с учётом важнейших факторов определяется ситуация, сложившаяся при работе оператора с тренажёром. Ситуация сопоставляется с прототипами возможных эталонных ситуаций. Подготовленность оператора определяется путём нечёткого логического вывода.

Если ситуация совпадает с прототипом эталонной ситуации, то выполняется переход на следующий этап обучения. В результате выполнения цепочки логических операций на новом этапе обучения происходит обновление когнитивной модели предметной области.

В схему введен блок «Интеллектуальное регулирование». В блоке по системе ситуационных логических правил определяются сценарии принятия решения, соответствующие выделенным прототипам ситуаций.

Достижение необходимого уровня подготовленности оператора является критерием продолжения или завершения работы с тренажёром.

Выделим характерные черты предлагаемого проблемно-ситуационного подхода:

1. Задача подготовки оператора формулируется как задача ситуационного динамического управления обучением оператора.

2. Объектом управления в системе АТО являются знания, навыки и умения оператора в предметной области.

3. Основу АТО составляет понятие ситуации как уровня подготовки оператора. Нештатные и аварийные ситуации рассматриваются как проблемные.

4. Уровень подготовки оператора определяется состоянием выделенных важнейших четких и нечетких факторов.

5. Предметная область определяет построение базы правил для принятия решений, описывается когнитивной моделью и сопоставляется с моделью предметной области в памяти оператора.

6. Решение о достаточности уровня подготовки оператора принимается как результат нечеткого вывода.

Пример применения проблемно-ситуационного подхода

Рассмотрим применение проблемно-ситуационного подхода к построению тренажёра компьютерного набора (КН) и сравним этот подход с вероятностным подходом, реализованным в компьютерном тренажёре VerseQ [12].

Задача компьютерного тренажёра – подготовка или повышение квалификации оператора КН. Большинство тренажёров КН предлагают для освоения процесса набора текста некоторую строку-стимул, которую оператор должен воспроизвести путём ввода с клавиатуры.

Программа VerseQ вычисляет уровень подготовки оператора с помощью коэффициента профессионализма и формирует статистику по времени (скорость, ритмичность набора) и по количеству ошибок.

Авторами разработан тренажёр КН (Simulator), схема работы которого отражает проблемно-ситуационный подход. Программа Simulator вычисляет уровень подготовки оператора с помощью нечёткого фактора «подготовленность» и формирует статистику по ряду факторов. Часть факторов принимают конкретные численные значения (скорость, ритмичность набора, количество ошибок). Учтены важнейшие нечеткие факторы (знание клавиатуры, эффективность усвоения информации), значения которых описано с помощью теории нечётких множеств (табл. 2).

Таблица 2 – Описание лингвистических переменных нечётких влияющих факторов

Фактор	Лингвистическая переменная	Терм-множество, $T_i, i = 1,2,3$	Базовое множество, X
«знание клавиатуры»	(Kn, T_1, X)	*T1 = {«Не знает», «Знает Недостаточно», «Знает Достаточно»}*	$X = \{x \mid x \in [0;1], x \in R\}$
«эффективность усвоения»	(Ef, T_2, X)	*T2 = {«Низкая», «Средняя», «Высокая»}*	
«подготовленность»	(Rd, T_3, X)	*T3 = {«Недостаточная», «Достаточная», «Профессиональная»}*	

Для задания функций принадлежности введенных переменных использована типовая гауссова форма функции. Значения параметров функций принадлежности выведены путём анализа вариантов ошибок, которые может допустить оператор КН [1].

Для оценки подготовленности оператора с учётом двух введенных факторов разработана нечёткая модель типа Сугэно. База знаний содержит 7 правил. Подготовленность оператора определяется по формуле (1):

$$Rd = f(Kn, Ef), \tag{1}$$

где Rd – подготовленность оператора; Kn – знание клавиатуры оператором; Ef – эффективность усвоения информации оператором.

Результаты компьютерного эксперимента с программами представлены в табл. 3.

В программе VerseQ словесным управляющим решением (рекомендацией эксперта) является «Ритмичность сносная, скорость уменьшить». Оценки факторов являются неудовлетворительными [12]. Поэтому новая строка-стимул формируется с учётом частоты ошибок, допущенных оператором КН в отдельных символах.

Таблица 3 – Полученные оценки факторов

	VerseQ	Simulator
Уровень подготовки оператора	Коэффициент профессионализма, $\Pr oQ = 27$	Подготовленность оператора, $Rd = 24$
Чёткие факторы	Скорость набора, $Sp = 60$ символов в минуту Ритмичность набора, $Rt = 50\%$ Количество ошибок, $Er = 10$ ошибок	
Нечёткие факторы	–	Знание клавиатуры, $Kn = 15$ Эффективность усвоения информации, $Ef = 10$

В программе Simulator строится прототип ситуации, которая складывается при подготовке оператора КН. Прототип ситуации описывается нечётким множеством второго уровня [10], причём четкие факторы характеризуются четкими множествами. Для результатов из таблицы 3 прототип ситуации представлен с помощью формулы 2:

$$\begin{aligned}\tilde{s}_i = \{&<<60\,|\,1>|\,Sp>;<<50\,|\,1>|\,Rt>;\\ &<<\text{"}Большое\text{"}|\,1>,<\text{"}Малое\text{"}|\,0{,}25>,<\text{"}Нет\text{"}|\,0>|\,Er>;\\ &<<\text{"}НеЗнает\text{"}|\,0{,}5>,<\text{"}ЗнаетНедостаточно\text{"}|\,1>,\\ &<\text{"}ЗнаетДостаточно\text{"}|\,0{,}25>|\,Kn>;\\ &<<\text{"}Низкая\text{"}|\,0{,}9>,<\text{"}Средняя\text{"}|\,0{,}6>,<\text{"}Высокая\text{"}|\,0{,}1>|\,Ef>\}\end{aligned} \qquad (2)$$

где $\tilde{s}_i$ – прототип ситуации на i-м шаге обучения; Sp – скорость набора; Rt – ритмичность набора; Er – количество ошибок; Kn – знание клавиатуры; Ef – эффективность усвоения информации.

Уровень подготовки оператора оценивается как недостаточный для перехода на следующий этап обучения. Для данного прототипа ситуации (формула 2) управляющим решением является «Улучшить знание клавиатуры». Новая строка-стимул формируется с учётом знания клавиатуры и эффективности усвоения информации, выявленных у оператора КН. Данные факторы характеризуют визуальную карту клавиатуры, сформированную в памяти оператора КН.

Описание прототипа ситуации и ситуационный вывод управляющего решения являются преимуществами интеллектуального регулирования, реализованного в программе Simulatior.

Выводы

1. В настоящее время не существует концептуально целостной универсальной среды для наполнения знаниями, необходимыми при подготовке оператора.

2. При формировании АТО могут быть использованы подходы следующих направлений:

   а) теоретические подходы к подготовке персонала в менеджменте;

   б) практические подходы к учёту влияющих факторов в искусственном интеллекте (раздел «Машинное обучение»);

   в) подходы, реализованные в существующих АТО.

3. Схема работы существующих АТО включает следующие блоки: «Вход», «Цели», «Действия оператора», «Подготовленность оператора», «Регулирование», «Модель предметной области».

4. В работе предлагается использовать подходы теории ситуационного управления для построения модифицированной схемы работы АТО путём включения в традиционную схему следующих блоков: «Память оператора», «Когнитивная модель предметной области», «Интеллектуальное регулирование», а также цепочки логических операций модели.

Литература

1. Петренко Т.Г., Резниченко Ю.С. Проблемно-ситуационный подход к разработке «автоматизированного тренажёра-оператора» (АТО) // Материалы 12-го Междунар. молодёжного форума «Радиоэлектроника и молодёжь в XXI веке». – Ч. 2 – Харьков. – 2008. – С. 246.
2. Донской А.Н. Тренажеры на базе ЭВМ для оперативного персонала ТЭЦ // Энергетик. – 1995. – № 5. – С. 28. – URL http://simulators.narod.ru (4 марта 2008).
3. Магид С.И., Мищеряков С.В., Музыка Л.П., Архипова Е.Н. Проблемы современного энергетического тренажёростроения через призму терминологии. – [Электронный ресурс]: URL http://www.testenergo.ru/006.rtf (7 апреля 2008).
4. Магид С.И., Ибрагимов И.М. Моделирование энергетических систем. – М.: Апарт, 2002.
5. Магид С.И., Загретдинов И.Ш., Львов С.В., Мищеряков С.В., Музыка Л.П., Архипова Е.Н. Нормативно-технические требования и современная реализация тренажеров для обеспечения надежности оперативного персонала электроэнергетических объектов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2005. – № 6.
6. Основы инженерной психологии. – М., 1994. – URL http://www.ido.edu.ru/psychology/labour_psychology (5 января 2007).
7. Мищеряков С.В. Тренажерная подготовка персонала предприятий энергетики // Энергобезопасность и человеческий фактор / Под ред. д.т.н., профессора С.И. Магида. – Краснодар – Москва, 2006.
8. Дефицит кадров как объективная ситуация. – Режим доступа: URL http://topcareer.ru/db/tc/ 8863CC EF651D0BECC3256E55004A3B76/sem_material.html (4 марта 2008).
9. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с.
10. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечёткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
11. Петренко Т.Г., Резниченко Ю.С. Нечёткая модель ассоциативной памяти человека // Тезисы 4 Междунар. конф. «Теоретические и прикладные аспекты развития программных систем» (TAAPSD'2007). – Бердянск. – 2007. – С. 181.
12. [Электронный ресурс]. – URL http://www.verseq.ru (18 января 2008).

Петренко Т.Г., Резніченко Ю.С.
Проблемно-ситуаційний підхід до побудови автоматизованого тренажеру оператора
Проаналізовано підходи, які реалізовано в існуючих автоматизованих тренажерах операторів. Виділено теоретичні й практичні підходи до побудови систем данного виду. Побудовано й описано в термінах проблемно-ситуаційного підходу схему роботи автоматизованого тренажеру оператора. Розглянуто приклад застосування проблемно-ситуаційного підходу.

T.G. Petrenko, Yu.S. Reznichenko
The Problem-contingency Approach to the Construction of an Automated Operator Trainer
Approaches realized in existent automated operator trainers were analyzed. Theoretical and practical approaches to the construction of this kind of systems were selected. The work scheme of an automated operator trainer was constructed and described in terms of the problem-contingency approach. An example of the use of the problem-contingency approach was viewed.

Статья поступила в редакцию 17.07.2008.